



DOCKET NO.: STMI07-01185

Customer No.: 23990

PATENT

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re application of : ERIC PICOLLET, ET AL.

U.S. Serial No. : 10/669,083

Filed : September 23, 2003

For : METHOD OF DETERMINING AN ELECTRICAL CAPACITANCE OF A CIRCUIT COMPONENT AND METHOD OF DEFINING A DIMENSION OF SUCH A COMPONENT

Group No. : 2856

Examiner : (Not Yet Assigned)

Commissioner for Patents  
P.O. Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

**CERTIFICATE OF MAILING BY FIRST CLASS MAIL**

The undersigned hereby certify that the enclosed:

- 1) Postcard Receipt; and,
- 2) Certified copy of French Application No. 0211726; and,

relating to the above application, were sent to the Commissioner for Patents via First Class Mail in an envelope addressed to: Commissioner for Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450 on February 16, 2004.

Date: Feb 16, 2004

Kathy Hamilton  
Mailer

Date: Feb. 16, 2004

William A. Munck  
William A. Munck  
Registration No. 39,308

Docket Clerk  
P.O. Drawer 800889  
Dallas, Texas 75380  
Phone: (972) 628-3600  
Fax: (972) 628-3616  
E-mail: [wmunck@davismunck.com](mailto:wmunck@davismunck.com)



1940



# BREVET D'INVENTION

## CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

### COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

08 OCT. 2003

Fait à Paris, le .....

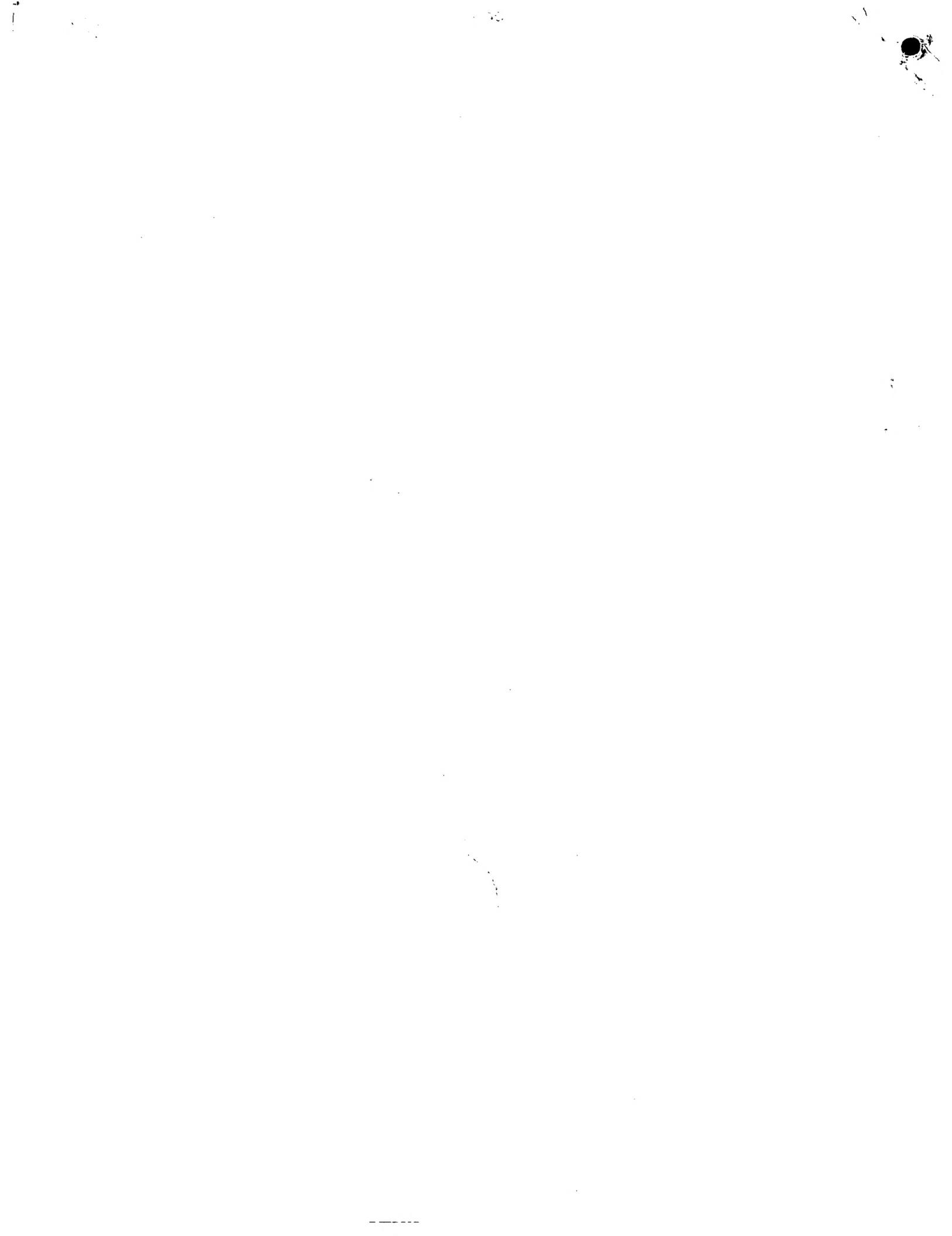
Pour le Directeur général de l'Institut  
national de la propriété industrielle  
Le Chef du Département des brevets

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Martine PLANCHE', is enclosed within a decorative oval border.

Martine PLANCHE

**SIEGE**  
**INSTITUT**  
**NATIONAL DE**  
**LA PROPRIETE**  
**INDUSTRIELLE**

26 bis, rue de Saint Petersbourg  
 75800 PARIS cedex 08  
 Téléphone : 33 (0)1 53 04 53 04  
 Télécopie : 33 (0)1 53 04 45 23  
[www.inpi.fr](http://www.inpi.fr)





INSTITUT  
NATIONAL DE  
LA PROPRIÉTÉ  
INDUSTRIELLE

26 bis, rue de Saint Pétersbourg  
75800 Paris Cedex 08  
Téléphone : 33 (1) 53 04 53 04 Télécopie : 33 (1) 42 94 86 54

1er dépôt

# BREVET D'INVENTION

## CERTIFICAT D'UTILITÉ

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI

**cerfa**

N° 11354\*01

R1

### REQUÊTE EN DÉLIVRANCE

page 1/2

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 540 W /300301

Réservé à l'INPI

REMISE DES PIÈCES DATE LIEU		23 SEPT 2002 75 INPI PARIS	N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI DATE DE DÉPÔT ATTRIBUÉE PAR L'INPI	0211726 23 SEP. 2002	1 NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE  CABINET PLASSERAUD 84, rue d'Amsterdam 75440 PARIS CEDEX 09
Vos références pour ce dossier (facultatif)		BLO/PHB/NC/BFF020260			
Confirmation d'un dépôt par télécopie		<input type="checkbox"/> N° attribué par l'INPI à la télécopie  <b>Cochez l'une des 4 cases suivantes</b>			
2 NATURE DE LA DEMANDE		<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>			
Demande de brevet					
Demande de certificat d'utilité					
Demande divisionnaire		<input type="checkbox"/> N° _____ Date _____ <input type="checkbox"/> N° _____ Date _____			
Demande de brevet initiale ou demande de certificat d'utilité initiale					
Transformation d'une demande de brevet européen Demande de brevet initiale		<input type="checkbox"/> N° _____ Date _____			
3 TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)					
<b>PROCEDE POUR DETERMINER UNE CAPACITE ELECTRIQUE D'UN COMPOSANT DE CIRCUIT, ET PROCEDE POUR DIMENSIONNER UN TEL COMPOSANT</b>					
4 DÉCLARATION DE PRIORITÉ OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE LA DATE DE DÉPÔT D'UNE DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE		Pays ou organisation Date _____ N° Pays ou organisation Date _____ N° Pays ou organisation Date _____ N° <input type="checkbox"/> <b>S'il y a d'autres priorités, cochez la case et utilisez l'imprimé « Suite »</b>			
5 DEMANDEUR		<input type="checkbox"/> <b>S'il y a d'autres demandeurs, cochez la case et utilisez l'imprimé « Suite »</b> Nom ou dénomination sociale STMICROELECTRONICS SA Prénoms Société Anonyme Forme juridique 341459386 N° SIREN Code APE-NAF Rue Adresse Code postal et ville Pays Nationalité Français N° de téléphone (facultatif) N° de télécopie (facultatif) Adresse électronique (facultatif)			

# BREVET D'INVENTION CERTIFICAT D'UTILITÉ

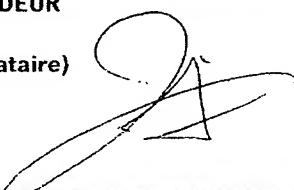
## REQUÊTE EN DÉLIVRANCE page 2/2

**BR2**

Réervé à l'INPI

REMISE DES PIÈCES	
DATE	23 SEPT 2002
LIEU	75 INPI PARIS
N° D'ENREGISTREMENT	0211726
NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI	

DB 540 W / 01C801

<b>Vos références pour ce dossier :</b> <i>( facultatif )</i>		BLO/PHB/NC/BFF020260
<b>6 MANDATAIRE</b> <i>( si il y a lieu )</i>		
Nom		
Prénom		
Cabinet ou Société		Cabinet PLASSERAUD
N ° de pouvoir permanent et/ou de lien contractuel		
Adresse	Rue	84, rue d'Amsterdam
	Code postal et ville	75009 PARIS
	Pays	
N° de téléphone <i>( facultatif )</i>		
N° de télécopie <i>( facultatif )</i>		
Adresse électronique <i>( facultatif )</i>		
<b>7 INVENTEUR ( S )</b>		Les inventeurs sont nécessairement des personnes physiques
Les demandeurs et les inventeurs sont les mêmes personnes		<input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non : Dans ce cas remplir le formulaire de Désignation d'inventeur(s)
<b>8 RAPPORT DE RECHERCHE</b>		Uniquement pour une demande de brevet <i>( y compris division et transformation )</i>
Etablissement immédiat ou établissement différé		<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Paiement échelonné de la redevance <i>( en deux versements )</i>		Uniquement pour les personnes physiques effectuant elles-mêmes leur propre dépôt
		<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non
<b>9 RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES</b>		Uniquement pour les personnes physiques
		<input type="checkbox"/> Requise pour la première fois pour cette invention <i>( joindre un avis de non-imposition )</i>
		<input type="checkbox"/> Obtenu antérieurement à ce dépôt pour cette invention <i>( joindre une copie de la décision d'admission à l'assistance gratuite ou indiquer sa référence )</i> : AG _____
Si vous avez utilisé l'imprimé « Suite », indiquez le nombre de pages jointes		
<b>10 SIGNATURE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE</b> <i>( Nom et qualité du signataire )</i>		<b>VISA DE LA PRÉFECTURE OU DE L'INPI</b>
Bertrand LOISEL CPI N° 940311		 GUICHET

PROCEDE POUR DETERMINER UNE CAPACITE ELECTRIQUE D'UN  
COMPOSANT DE CIRCUIT, ET PROCEDE POUR DIMENSIONNER UN TEL  
COMPOSANT

La présente invention concerne un procédé pour déterminer une  
5 capacité électrique d'un composant de circuit, le composant comprenant deux  
parties conductrices.

La détermination de la capacité d'interaction électrostatique entre deux  
parties conductrices est un besoin récurrent lors de la conception de circuits  
intégrés. Elle intervient notamment pour caractériser des condensateurs mis en  
10 œuvre dans des circuits, ou pour caractériser des interactions électrostatiques  
entre différentes parties conductrices, telles que, par exemple des pistes de  
transmission de signaux électriques. En effet, des telles interactions génèrent  
des délais intervenant dans le fonctionnement électrique du circuit qui  
incorpore ces parties conductrices. Dans le cas de pistes de transmission de  
15 signaux électriques, ces délais ralentissent la transmission des signaux.

Une première méthode pour déterminer de telles capacités consiste à  
résoudre les équations fondamentales d'électrostatique, connues de l'Homme  
du métier. Ces équations peuvent notamment être réduites à l'équation de  
Laplace portant sur le potentiel électrostatique, associée à des conditions aux  
20 limites adaptées aux parties conductrices envisagées. Néanmoins, une  
résolution exacte du problème ainsi posé n'est possible que pour des  
configurations géométriques simples des parties conductrices, qui ne  
correspondent généralement pas à des configurations réelles utilisées dans  
des circuits intégrés.

Des méthodes de résolution approchée de l'équation de Laplace,  
notamment par éléments finis, ont été développées qui permettent de calculer  
le potentiel électrostatique en des points déterminés d'un voisinage des parties  
conductrices. Une estimation de la capacité des deux parties conductrices en  
est alors facilement déduite. Pour que cette estimation présente une précision  
30 suffisante, de telles méthodes nécessitent le calcul du potentiel électrostatique  
en un très grand nombre de points. De ce fait, elles sont fastidieuses, longues,

nécessitent d'utiliser des stations de calcul de puissance de calcul élevée et sont coûteuses en temps de calcul.

Afin de réduire la quantité de calculs nécessaire des méthodes à éléments finis, des approximations et des simplifications sont couramment effectuées qui altèrent la précision de l'estimation obtenue. Ces approximations comprennent notamment des simplifications de la configuration des parties conductrices, telles que, par exemple, le fait de négliger l'épaisseur de plaques conductrices par rapport à leur longueur et à leur largeur. L'estimation de la capacité ainsi calculée diffère alors souvent de 10%, voire 14%, de la capacité réelle, lorsque cette dernière peut être, par exemple, déterminée expérimentalement.

De façon générale, l'écart relatif entre la capacité ainsi estimée et la capacité réelle d'un composant intégré augmente lorsque la taille dudit composant diminue. Cette augmentation résulte notamment de contributions négligées dans le calcul de la capacité, dont l'importance croît par rapport aux contributions prises en compte dans le calcul, lorsque le composant devient plus petit. De telles contributions négligées sont, par exemple, liées à des bords de parties conductrices. L'intégration croissante des circuits électroniques fabriqués aujourd'hui nécessite par conséquent des méthodes précises d'estimation de capacités.

Enfin, pour certaines configurations géométriques des parties conductrices, des méthodes empiriques ont été développées au cours des dernières décennies, qui sont basées sur des résultats expérimentaux obtenus pour des géométries simplifiées, et qui réduisent considérablement la quantité de calculs nécessaires.

La présente invention propose une méthode d'estimation de la capacité de deux parties conductrices disposées selon une configuration particulière, qui est rapide et ne nécessite pas d'approximations ni de simplifications qui altèrent sensiblement la précision de l'estimation. De plus, la configuration envisagée comprend deux matériaux diélectriques distincts disposés à proximité des parties conductrices, ce qui correspond à de nombreux

composants électroniques réels.

La présente invention se rapporte à un composant de circuit qui comprend :

- une première plaque conductrice rectangulaire, de largeur  $W$ , de longueur  $L$  et d'épaisseur  $t_{M1}$  ;
- une seconde plaque conductrice parallèle à la première plaque et espacée de celle-ci d'une distance  $t_{Ox}$ , ayant une partie centrale rectangulaire en regard de la première plaque et une partie périphérique entourant ladite partie centrale ;
- un premier matériau diélectrique homogène, de permittivité diélectrique relative  $\epsilon_{Ox}$ , disposé entre les première et seconde plaques et ayant une épaisseur égale à  $t_{Ox}$  entre les deux plaques et à  $t_{OxSt}$  au droit de ladite partie périphérique de la seconde plaque, de sorte que ledit premier matériau diélectrique présente une marche de hauteur  $t_{Ox}-t_{OxSt}$  sur le pourtour de la première plaque ; et
- un second matériau diélectrique homogène, de permittivité diélectrique relative  $\epsilon_E$  entourant la première plaque et le premier matériau diélectrique.

Cette configuration de parties conductrices, combinée avec deux matériaux diélectriques, correspond à une conception de condensateurs intégrés fréquemment utilisée, compatible avec la technologie MIM (« Métal-Isolant-Métal »). Les dimensions de la première plaque conductrice, inférieures à celles de la seconde plaque conductrice, réduisent une éventuelle dispersion des capacités réelles d'une série de condensateurs provoquée par un défaut d'alignement des deux plaques l'une par rapport à l'autre, lors de fabrication des condensateurs.

Par ailleurs, pour augmenter la capacité d'un condensateur ayant une telle structure sans augmenter ses dimensions, le premier matériau diélectrique peut être choisi de façon à posséder une permittivité diélectrique relative élevée, par exemple de l'ordre de 23. Le second matériau diélectrique peut-

être, par exemple, de la silice, selon le procédé de fabrication du circuit électrique comprenant le condensateur. La permittivité diélectrique relative de la silice est de l'ordre de 4, comprise entre 3,7 et 4,2. Ainsi, grâce à la distinction entre les deux matériaux électriques dans le procédé de l'invention,  
 5 le premier matériau diélectrique peut être spécialement choisi en fonction de besoins particuliers, notamment liés à la nature du composant de circuit, tout en conservant un second matériau diélectrique adapté à la technologie de réalisation du circuit électrique.

Le procédé d'estimation selon l'invention comprend l'obtention, d'une  
 10 estimation de la capacité du composant comme une somme de plusieurs termes incluant au moins deux termes de la forme  $C_0 \cdot W \cdot L$  et  $C_1 \cdot 2(W + L)$ ,

$$\text{avec } C_0 = \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon_{Ox}}{t_{Ox}} \text{ et } C_1 = \frac{\epsilon_0}{\pi} \cdot K \cdot \text{Log}(a),$$

- $\epsilon_0$  étant la permittivité diélectrique du vide,

$$\bullet \quad K = \frac{\epsilon_{Ox} \cdot \epsilon_E}{\epsilon_{Ox} - \left( \frac{(\epsilon_E - \epsilon_{Ox})^2}{(\epsilon_E + \epsilon_{Ox})} \cdot \frac{t_{OxSt}}{t_{Ox}} \right)},$$

$$15 \quad \bullet \quad a = -1 + 2k^2 + 2k\sqrt{k^2 - 1} \text{ avec } k = 1 + \frac{t_{M1}}{t_{Ox}},$$

En effet, il a été constaté par les inventeurs que la somme  $C_0 \cdot W \cdot L + C_1 \cdot 2(W + L)$  constitue une estimation de la capacité suffisamment précise dans de nombreux cas.

Dans le mode de mise en œuvre préféré de l'invention, la somme  
 20 formant l'estimation de la capacité comprend deux termes supplémentaires, généralement inférieurs aux deux termes précédents. Ces deux termes supplémentaires augmentent la précision de l'estimation obtenue. Ils sont de la forme  $[C_2(W) + C_3(W)] \cdot 2L$  et  $[C_2(L) + C_3(L)] \cdot 2W$ , avec pour  $x=W$  ou  $L$ :

$$C_2(x) = \frac{\epsilon_0}{\pi} \cdot K \cdot \text{Log}\left(\frac{u(x)}{a}\right) \text{ et } C_3(x) = \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon_{Ox}}{\pi} \cdot [2 - \text{Log}4 - \text{Log}(1 - 2\exp(-2\theta(x)))] ,$$

25     • Log désignant le logarithme népérien,

- la quantité  $u(x)$  étant une estimation d'une solution de l'équation

$$\frac{\pi}{2} \frac{x}{t_{ox}} = -\frac{a+1}{\sqrt{a}} \cdot \text{Log}\left(\frac{R(x)+1}{R(x)-1}\right) + \frac{a-1}{\sqrt{a}} \cdot \frac{R(x)}{(R(x)^2-1)} + \text{Log}\left(\frac{R(x)\sqrt{a}+1}{R(x)\sqrt{a}-1}\right), \quad \text{avec}$$

$$R(x) = \sqrt{\frac{u(x)-1}{u(x)-a}},$$

- $\exp$  désignant l'exponentielle de base e, et

5      •  $\theta(x) = 1 + \pi \frac{x}{2t_{ox}}$ .

Les deux termes  $[C_2(W) + C_3(W)] \cdot 2L$  et  $[C_2(L) + C_3(L)] \cdot 2W$  sont donc rajoutés à la somme formant l'estimation de la capacité du composant. Ainsi, selon le mode de mise en œuvre préféré de l'invention, l'estimation de la capacité peut s'écrire :

10       $C = C_0 \cdot W \cdot L + C_1 \cdot 2(W + L) + [C_2(W) + C_3(W)] \cdot 2L + [C_2(L) + C_3(L)] \cdot 2W.$

Eventuellement, d'autres termes peuvent encore y être ajoutés.

Un avantage particulier du procédé de l'invention et de son mode de mise en œuvre préféré réside dans la facilité de leur programmation, liée au fait que seules des équations simples sont utilisées pour obtenir l'estimation de la capacité. Des instruments de calculs usuels suffisent alors.

PREFERABLEMENT, la quantité  $u(x)$  est obtenue en utilisant une méthode itérative de résolution approximative, appliquée à l'équation :

$$\frac{\pi}{2} \frac{x}{t_{ox}} = -\frac{a+1}{\sqrt{a}} \cdot \text{Log}\left(\frac{R(x)+1}{R(x)-1}\right) + \frac{a-1}{\sqrt{a}} \cdot \frac{R(x)}{(R(x)^2-1)} + \text{Log}\left(\frac{R(x)\sqrt{a}+1}{R(x)\sqrt{a}-1}\right), \quad \text{avec}$$

$R(x) = \sqrt{\frac{u(x)-1}{u(x)-a}}$ . Une telle méthode est par exemple la méthode dite « de

20      Newton » ou « des tangentes », connue de l'Homme du métier. L'estimation de la capacité C est alors reliée de façon analytique aux paramètres géométriques des première et seconde plaques, ainsi qu'aux permittivités diélectriques relatives des premier et second matériaux diélectriques, ce qui en permet une détermination particulièrement simple.

25      L'invention concerne aussi un procédé de simulation numérique d'un

comportement électrique d'un circuit, qui utilise au moins une capacité d'un composant du circuit déterminée de la façon précédente. Outre le cas d'un condensateur, une telle capacité peut intervenir dans de nombreux autres composants. Parmi ces autres composants, on peut citer les cas où les

5      première et seconde plaques conductrices correspondent à deux portions de pistes de transmission de signaux électriques, ou encore des composants dans lesquels la seconde plaque conductrice correspond à un substrat conducteur électrique portant les premier et second matériaux diélectriques ainsi que la première plaque conductrice.

10     Eventuellement, le composant électrique peut comprendre en outre, en plus des première et seconde plaques conductrices, un substrat conducteur électrique sensiblement plan disposé parallèlement aux deux plaques, à l'arrière de la seconde plaque, le substrat comprenant une partie centrale rectangulaire en regard de la seconde plaque et une partie périphérique

15     entourant ladite partie centrale, et dans lequel le second matériau diélectrique est en outre disposé entre la seconde plaque conductrice et le substrat. Le procédé de l'invention peut alors être de nouveau utilisé pour estimer une capacité d'interaction de la seconde plaque avec le substrat, distincte de la capacité entre les deux plaques conductrices.

20     L'invention concerne par ailleurs un procédé pour dimensionner un condensateur formé de deux plaques conductrices et de deux matériaux diélectriques agencés de la façon décrite plus haut. Les permittivités  $\epsilon_{ox}$  et  $\epsilon_E$ , ainsi que les épaisseurs  $t_{ox}$ ,  $t_{M1}$ , et  $t_{oxst}$  sont fixées par le procédé de fabrication du condensateur, alors que la largeur  $W$  est déterminée par le

25     concepteur du circuit. Le dimensionnement du condensateur consiste alors à déterminer la longueur  $L$  de la première plaque pour obtenir une capacité  $C_u$  fixée.

Le procédé de dimensionnement du condensateur inclut, de même que le procédé d'estimation décrit plus haut, le calcul des grandeurs  $C_0$  et  $C_1$

30     définies ci-dessus, et comprend le calcul d'une première valeur approchée  $L_1$  de la longueur  $L$  comme un quotient entre une somme de premiers termes et

une somme de seconds termes, lesdits premiers termes comprenant  $C_u$  et au moins un terme de la forme  $-2 \cdot C_1 \cdot W$ , lesdits seconds termes comprenant au moins deux termes de la forme  $C_0 \cdot W$  et  $2 \cdot C_1$ . La valeur de  $L_1$  est ainsi

$$\text{donnée par l'équation : } L_1 = \frac{C_u - 2 \cdot C_1 \cdot W}{C_0 \cdot W + 2C_1}.$$

5 De même que pour le mode de mise en œuvre préféré du procédé d'estimation de l'invention, le procédé de dimensionnement peut inclure en outre le calcul des grandeurs  $C_2(W)$ ,  $C_2(L_0)$ ,  $C_3(W)$  et  $C_3(L_0)$ ,  $L_0$  étant une valeur initiale déterminée. Lesdits premiers termes incluent alors en outre deux termes de la forme  $-2 \cdot C_2(L_0) \cdot W$  et  $-2 \cdot C_3(L_0) \cdot W$ , et lesdits seconds termes  
10 incluent en outre deux termes de la forme  $2 \cdot C_2(W)$  et  $2 \cdot C_3(W)$ . La première valeur approchée  $L_1$  de la longueur  $L$  est alors donnée par l'équation :

$$L_1(L_0) = \frac{C_u - 2W(C_1 + C_2(L_0) + C_3(L_0))}{C_0 \cdot W + 2C_1 + 2(C_2(W) + C_3(W))}.$$

Eventuellement, une seconde valeur approchée  $L_2$  de  $L$  peut être obtenue en appliquant la formule précédente à la première valeur approchée  
15  $L_1$ . On calcule ainsi :  $L_2(L_1) = \frac{C_u - 2W(C_1 + C_2(L_1) + C_3(L_1))}{C_0 \cdot W + 2C_1 + 2(C_2(W) + C_3(W))}$ . De façon identique, des itérations successives de la même formule, appliquée successivement à la valeur approchée résultant de l'itération antérieure, permettent d'obtenir des valeurs approchées de  $L$  de plus en plus exactes.

La valeur initiale  $L_0$  peut être prise égale à  $W$ .

20 De même que pour l'estimation de la capacité, les quantités associées aux valeurs de  $W$ ,  $L_0$ ,  $L_1$ , ... peuvent être obtenues en utilisant une méthode itérative de résolution approximative d'équation, connues de l'Homme du métier. Cette méthode itérative peut encore être, par exemple, celle dite « de Newton ».

25 L'invention concerne enfin un programme d'ordinateur comprenant des instructions pour appliquer, lors d'une exécution du programme dans un ordinateur, un procédé d'estimation d'une capacité, de simulation d'un



fonctionnement électrique ou de dimensionnement d'un condensateur tel que décrit ci-dessus.

D'autres particularités et avantages de la présente invention apparaîtront dans la description ci-après d'exemples de mise en œuvre non limitatifs, en référence aux dessins annexés, dans lesquels :

- la figure 1 est un schéma en perspective d'un condensateur auquel s'applique l'invention ;
- la figure 2 est une vue en coupe du condensateur de la figure 1 ;
- la figure 3 est une vue en coupe d'un circuit électrique incorporant le condensateur des figures 1 et 2 ;
- la figure 4 illustre des condensateurs partiels associés à différents termes de l'estimation selon l'invention de la capacité du condensateur des figures 1 et 2 ;
- la figure 5 représente différentes zones de l'armature inférieure du condensateur des figures 1 et 2 ;
- la figure 6 représente des variations de trois termes de l'estimation de la capacité du condensateur des figures 1 et 2 ;
- la figure 7 est une vue en coupe d'une piste de transmission de signaux électriques à laquelle s'applique l'invention.

Dans ces figures, pour raison de clarté, les dimensions des différentes parties de composants représentées ne sont pas en proportion avec des dimensions réelles. Sur toutes les figures, des références identiques correspondent à des éléments analogues. On note N une direction perpendiculaire aux plaques, orientée vers le haut des figures. Les termes «au-dessus de», «au-dessous de», «sur», «sous», «supérieur» et «inférieur» utilisés dans la suite font référence à cette orientation.

L'invention est maintenant plus particulièrement décrite dans le cadre d'un premier exemple correspondant à l'estimation de la capacité d'un condensateur à faces parallèles, de valeur approximative 2 femtoFarad par micromètre-carré de surface ( $2 \text{ fF}/\mu\text{m}^2$ ). Un tel condensateur est formé de deux

armatures métalliques, planes et rectangulaires, disposées en vis-à-vis. La première armature 1, en position supérieure sur la figure 1, possède une épaisseur  $t_{M1}$  de 0,18 micromètre (noté par la suite  $\mu\text{m}$ ), une largeur W de 3,5  $\mu\text{m}$  et une longueur L de 138  $\mu\text{m}$ . La seconde armature 2, en position inférieure sur la figure 1, a par exemple une largeur de 5,9  $\mu\text{m}$  et une longueur de 140,4  $\mu\text{m}$ , respectivement parallèles à la largeur W et à la longueur L de l'armature 1. Ainsi, l'armature 2 présente une partie périphérique qui dépasse d'une largeur de 1,2  $\mu\text{m}$  (notée  $\Delta W$  sur la figure 3) autour d'une projection de l'armature 1 sur l'armature 2 selon la direction N. Les deux armatures 1, 2 sont constituées de cuivre ou d'aluminium, par exemple.

Un premier matériau diélectrique 3 recouvre la face supérieure de l'armature 2, et est en contact avec l'armature 1, contre la face inférieure de celle-ci. Le diélectrique 3 possède une épaisseur  $t_{ox}$  de 0,032  $\mu\text{m}$  entre les deux armatures 1 et 2, et une épaisseur  $t_{oxst}$  de 0,015  $\mu\text{m}$  en dehors de l'espace inter-armatures. Le matériau diélectrique 3 présente donc, sur sa face supérieure, une marche de hauteur  $t_{ox}-t_{oxst}$  de 0,017  $\mu\text{m}$  située au droit du pourtour de l'armature 1. La figure 2 est une vue en coupe du condensateur faisant apparaître  $t_{ox}$  et  $t_{oxst}$ . Le matériau diélectrique 3 est, par exemple, de l'oxyde de tantale  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ , avec une permittivité diélectrique relative  $\epsilon_{ox}$  de 7,25.

Un second matériau diélectrique 4 est disposé au dessus de l'armature 1 et du diélectrique 3 (voir figure 2). Il est composé de silice, par exemple, avec une permittivité diélectrique relative  $\epsilon_E$  de 4,0.

La figure 3 représente une section d'un circuit intégré à plusieurs niveaux de métallisation M1, M2, M3, M4, M4bis, M5 et M6 disposés au dessus d'un substrat de silicium conducteur 10. M4bis est un niveau supplémentaire spécialement ménagé pour réaliser l'armature 1. Chaque niveau de métallisation comprend une couche de silice 11, 12, ..., 16 et 14bis, dans laquelle sont formées des parties métalliques 21, 22, ..., 26 et 24 bis. La couche 14 correspond au matériau diélectrique 4. Les parties métalliques 21, 22, ..., 26 et 24 bis constituent des connexions électriques parallèles au substrat 10 ou selon la direction N. Dans ce dernier cas, elles sont connues sous l'appellation de «vias». Les niveaux de métallisation M1, ..., M6 et M4bis

peuvent être réalisés selon la méthode Damascène, connue de l'Homme du métier.

L'armature 2 est réalisée au sein du niveau de métallisation M4. Le matériau diélectrique 3 est disposé dans un volume spécialement ménagé au 5 sein de la couche 14 du niveau M4.

Ainsi que l'illustre la figure 3, les dépassemens latéraux  $\Delta W$  de l'armature 2 par rapport à l'armature 1 permettent l'agencement de vias de contact 20 sur l'armature 2, disposés sur la périphérie de la face supérieure de l'armature 2, sans que ces vias ne soient en contact électrique avec l'armature 1. De plus, un désalignement des niveaux de métallisation M4 et M4bis l'un par rapport à l'autre, parallèlement à la surface du substrat 10, dû à un contrôle insuffisant de la position de masques de lithographie intervenant dans la 10 réalisation de ces niveaux, altère peu la capacité du condensateur. En effet, l'armature 1 reste alors intégralement en vis-à-vis d'une partie de l'armature 2.

Compte tenu des valeurs numériques de permittivités et d'épaisseurs précédentes, et avec  $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$  pour la permittivité diélectrique du vide, on obtient les valeurs des grandeurs intermédiaires suivantes, selon les formules rappelées ci-dessous :

$$C_0 = \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon_{\text{Ox}}}{t_{\text{Ox}}}$$

$$C_0 = 2,006 \cdot 10^{-3} \text{ F/m}^2$$

$$K = \frac{\epsilon_{\text{Ox}} \cdot \epsilon_E}{\epsilon_{\text{Ox}} - \left( \frac{(\epsilon_E - \epsilon_{\text{Ox}})^2}{(\epsilon_E + \epsilon_{\text{Ox}})} \cdot \frac{t_{\text{oxst}}}{t_{\text{Ox}}} \right)}, \quad K = 3,771$$

$$k = 1 + \frac{t_{\text{M1}}}{t_{\text{Ox}}}$$

$$k = 6,625$$

$$a = -1 + 2k^2 + 2k\sqrt{k^2 - 1}$$

$$a = 173,6$$

$$C_1 = \frac{\epsilon_0}{\pi} \cdot K \cdot \text{Log}(a)$$

$$C_1 = 6,189 \cdot 10^{-11} \text{ fF}/\mu\text{m}$$

Les deux premiers termes de l'estimation de la capacité C sont alors :

$C_0 \cdot W \cdot L = 969,30 \text{ fF}$  et  $C_1 \cdot 2(W + L) = 17,52 \text{ fF}$ , et, par somme, une première estimation de la capacité  $C$  est  $986,82 \text{ fF}$ .

Cette première estimation peut être améliorée en tenant compte des termes liés à  $C_2$  et  $C_3$ . En reportant les valeurs précédentes de  $t_{ox}$  et de  $a$  dans 5 l'équation satisfaite par  $u(x)$ , on obtient l'équation numérique suivante :

$$49087385 \cdot x = -13,25 \cdot \log\left(\frac{R(x)+1}{R(x)-1}\right) + 13,10 \cdot \frac{R(x)}{(R(x)^2 - 1)} + \log\left(\frac{13,17 \cdot R(x)+1}{13,17 \cdot R(x)-1}\right),$$

$$\text{avec } R(x) = \sqrt{\frac{u(x)-1}{u(x)-173,56}}.$$

Par application de la méthode de résolution approximative de Newton à cette équation numérique, on obtient les valeurs suivantes de  $u$ , pour 10  $x=W=3,5 \mu\text{m}$  et  $x=L=138 \mu\text{m}$  :  $u(W)=2708,57$  et  $u(L)=90056,39$ . Alors :

$$C_2(W) = \frac{\epsilon_0}{\pi} \cdot K \cdot \log\left(\frac{u(W)}{a}\right), \quad \text{soit } C_2(W) = 3,298 \cdot 10^{-11} \text{ F/m},$$

et

$$C_2(L) = \frac{\epsilon_0}{\pi} \cdot K \cdot \log\left(\frac{u(L)}{a}\right), \quad \text{soit } C_2(L) = 7,503 \cdot 10^{-11} \text{ F/m}.$$

En reportant  $x=W=3,5 \mu\text{m}$  et  $x=L=138 \mu\text{m}$  dans l'expression 15  $\theta(x) = 1 + \pi \frac{x}{2t_{ox}}$ , on obtient  $\theta(W)=172,81$  et  $\theta(L)=6777,76$ . L'équation

$$C_3(x) = \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon_{ox}}{\pi} \cdot [2 - \log 4 - \log(1 - 2 \exp(-2\theta(x)))]$$

donne alors  $C_3(W) \approx C_3(L) \approx 1,254 \cdot 10^{-11} \text{ F/m}$ . Les deux termes additifs supplémentaires de l'estimation de  $C$  sont par conséquent :  $[C_2(W) + C_3(W)] \cdot 2L = 12,56 \text{ fF}$  et  $[C_2(L) + C_3(L)] \cdot 2W = 0,613 \text{ fF}$ . On obtient 20 alors une estimation totale de  $C$  de  $999,98 \text{ fF}$ .

Les inventeurs proposent par ailleurs une interprétation physique des différents termes précédents de l'estimation de la capacité  $C$ , sous forme de condensateurs partiels disposés en parallèle les uns par rapport aux autres. Ces condensateurs partiels sont identifiés de la façon décrite ci-dessous, et 25 illustrés de façon schématique sur la figure 4 qui reprend les plaques 1 et 2 et



les matériaux diélectriques 3 et 4 de la figure 1, pour une moitié représentée du condensateur.

Le terme  $C_0 \cdot W \cdot L$ , qui constitue la contribution principale à l'estimation de C, correspond à un premier condensateur partiel formé par la surface inférieure de l'armature 1, et par la partie centrale  $P_0$  de la surface supérieure de l'armature 2, située en regard de l'armature 1 selon la direction N. Ce terme reprend l'expression de la capacité d'un condensateur plan à armatures identiques, connue de l'Homme du métier.

Les autres termes de la somme d'estimation de la capacité C sont des contributions de la périphérie du condensateur, proportionnelle aux éléments de longueur de cette périphérie.

Le terme  $C_1 \cdot 2(W + L)$  correspond à une capacité par unité de longueur  $C_1$  multipliée par la longueur du périmètre de l'armature 1. Il peut être associé à un condensateur partiel repéré par  $C_1$  sur la figure 4, formé par les côtés 1c de l'armature 1 parallèles à la direction N, et par une zone  $P_1$  de la partie périphérique de l'armature 2, représentée sur les figures 4 et 5. En effet, des lignes de champ électrique relient entre elles ces parties d'armatures, contribuant à l'effet de condensateur global.

Les termes  $[C_2(W) + C_3(W)] \cdot 2L$  et  $[C_2(L) + C_3(L)] \cdot 2W$  correspondent respectivement à des contributions de bords de l'armature 1, pris deux à deux selon la longueur et la largeur de l'armature 1. Ils sont ainsi respectivement proportionnels à  $2L$  et  $2W$ .  $C_2(W) \cdot 2L$  correspond à un condensateur partiel formé, d'une part, par une zone périphérique de la face supérieure de l'armature 1, le long de chaque bord de l'armature 1 de longueur L, et d'autre part par une zone  $P_{2L}$  périphérique de la face supérieure de l'armature 2 (condensateur partiel repéré par  $C_2(W)$  sur la figure 4, et voir la figure 5). La zone  $P_{2L}$  est située à l'extérieur de la zone  $P_1$ .

Le terme  $C_3(W) \cdot 2L$  correspond à un condensateur partiel formé, d'une part, par une zone périphérique de la face inférieure de l'armature 1, le long d'un bord de longueur L de l'armature 1, et d'autre part par une zone  $P_{3L}$

périphérique de la face supérieure de l'armature 2 (condensateur partiel repéré par  $C_3(W)$  sur la figure 4, et voir la figure 5). La zone  $P_{3L}$  est située entre les zones  $P_0$  et  $P_1$ .

5 Ces interprétations physiques des termes  $C_2(W).2L$  et  $C_3(W).2L$  peuvent être transposées pour interpréter les termes  $C_2(L).2W$  et  $C_3(L).2W$ , en introduisant les zones  $P_{2w}$  et  $P_{3w}$  de la surface supérieure de l'armature 2, telles que représentées sur la figure 5.

Lorsque la taille du condensateur est diminuée, correspondant à des technologies de fabrication selon des niveaux d'intégration croissants, les 10 différents termes de l'estimation de  $C$  apparaissent dans l'ordre d'importance suivant :  $C_0.W.L > C_1.2(W+L) > C_2(W).2L, C_3(W).2L, C_2(L).2W$  et  $C_3(L).2W$ . Ce classement fait apparaître une contribution due à l'épaisseur de l'armature 1 prépondérante par rapport aux contributions périphériques respectives des faces supérieure et inférieure de l'armature 1. Il est illustré par la figure 6 qui 15 représente les variations des trois termes  $C_1.2(W+L)$ ,  $C_2(W).2L + C_2(L).2W$  et  $C_3(W).2L + C_3(L).2W$  lorsque l'épaisseur  $t_{M1}$  de l'armature 1 varie. Les valeurs de  $t_{ox}$ ,  $t_{oxst}$ ,  $W$ ,  $L$ ,  $\epsilon_{ox}$ ,  $\epsilon_E$  correspondant à la figure 6 sont celles citées plus haut.

Afin d'obtenir des simulations numériques particulièrement précises du 20 comportement du condensateur au sein du circuit électrique représenté sur la figure 3, l'interaction entre le condensateur et le substrat 10 peut être décrite par une autre capacité, dite capacité d'interaction avec le substrat. Par simplification, cette capacité d'interaction avec le substrat ne prend en compte que l'effet du substrat sur l'armature 2, plus proche du substrat 10 que l'armature 1. Selon la figure 3,  $d$  représente la distance entre la surface du substrat 10 et la face inférieure de l'armature 2, soit 5,32  $\mu\text{m}$  dans l'exemple considéré.  $\Delta W$  représente les portions de largeur supplémentaires de l'armature 2 par rapport à l'armature 1, dans le plan de la figure 3. Compte tenu 25 des dimensions citées plus haut, l'armature 2 présente des sur-longueurs de mêmes dimensions par rapport à l'armature 1, selon la direction perpendiculaire au plan de la figure 3.

Il apparaît que les principes et formules présentés ci-dessus en relation avec les deux armatures 1 et 2 peuvent être transposés au système formé par l'armature 2 et le substrat 10. Ces principes et formules permettent de prendre en compte identiquement deux matériaux diélectriques distincts, disposés dans 5 les niveaux de métallisation M1 à M4 selon une configuration analogue à celle des matériaux 3 et 4 précédents.

Un second exemple d'illustration de l'invention est décrit maintenant, qui concerne le dimensionnement d'un condensateur à faces parallèles, dont la capacité par unité de surface est approximativement  $5 \text{ fF}/\mu\text{m}^2$ . Un tel 10 condensateur possède une structure analogue à celle représentée sur les figures 1 et 2, avec les données numériques suivantes :  $t_{M1}=0,21 \mu\text{m}$  ;  $t_{ox}=0,040 \mu\text{m}$  ;  $t_{oxst}=0,036 \mu\text{m}$  ;  $\epsilon_{ox}=23,0$  ;  $\epsilon_E=4,0$ . Le procédé de fabrication utilisé impose en outre la largeur de l'armature 1 :  $W=3,5 \mu\text{m}$ . Le dimensionnement du condensateur consiste à déterminer la longueur L de 15 l'armature 1 afin que la capacité (d'interaction entre les armatures 1 et 2) ait une valeur fixée par le concepteur du circuit électrique incorporant le condensateur. A titre d'exemple, la capacité voulue est 1000 fF.

Une première estimation de la longueur L peut ne prendre en compte que les termes de la capacité associés à  $C_0$  et à  $C_1$ . Dans ce cas, les étapes 20 de l'estimation numérique de L sont les suivantes :

$$\text{- calcul de } C_0 = \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon_{ox}}{t_{ox}} : \quad \text{soit } C_0 = 5,091 \cdot 10^{-3} \text{ F/m}^2 ;$$

$$\text{- calcul de } K = \frac{\epsilon_{ox} \cdot \epsilon_E}{\epsilon_{ox} - \left( \frac{(\epsilon_E - \epsilon_{ox})^2}{(\epsilon_E + \epsilon_{ox})} \cdot \frac{t_{oxst}}{t_{ox}} \right)} : \quad \text{soit } K = 2,651 ;$$

$$\text{- calcul de } k = 1 + \frac{t_{M1}}{t_{ox}} : \quad \text{soit } k = 6,25 ;$$

$$\text{- calcul de } a = -1 + 2k^2 + 2k\sqrt{k^2 - 1} : \quad \text{soit } a = 154,24 ;$$

$$25 \quad \text{- calcul de } C_1 = \frac{\epsilon_0}{\pi} \cdot K \cdot \text{Log}(a) : \quad \text{soit } C_1 = 1,156 \cdot 10^{-10} \text{ fF/m.}$$

La première estimation  $L_1$  de la longueur L est alors :

$$L_1 = \frac{C_u - 2 \cdot C_1 \cdot W}{C_0 \cdot W + 2C_1}, \text{ soit } L_1 = 55,36 \mu\text{m}.$$

Cette estimation  $L_1$  est améliorée en prenant en compte, en outre, les termes associés à  $C_2$  et à  $C_3$  dans l'estimation de la capacité du condensateur. On calcule alors  $C_2(W)$ ,  $C_2(L_0)$ ,  $C_3(W)$  et  $C_3(L_0)$ , de la même façon que dans le 5 premier exemple. En prenant comme valeur initiale  $L_0=W=3,5 \mu\text{m}$ , on obtient :  $C_2(W) = C_2(L_0) = 5,982 \cdot 10^{-11} \text{ F/m}$  et  $C_3(W) = C_3(L_0) = 3,978 \cdot 10^{-11} \text{ F/m}$ . La première estimation  $L_1$  de  $L$  est alors :

$$L_1(L_0) = \frac{C_u - 2W(C_1 + C_2(L_0) + C_3(L_0))}{C_0 \cdot W + 2C_1 + 2(C_2(W) + C_3(W))} \quad \text{soit } L_1 = 54,714 \mu\text{m}.$$

En itérant deux fois l'application de cette formule, on obtient 10  $L_2(L_1) = 54,691 \mu\text{m}$ , de même que  $L_3(L_2) = 54,691 \mu\text{m}$ , ce qui met en évidence la convergence rapide de la série d'estimations de la longueur  $L$  ainsi obtenue. La limite de cette série donne la valeur de  $L$  à adopter pour la fabrication du condensateur :  $L=54,69 \mu\text{m}$ .

Les avantages et intérêts de ce procédé de détermination de la 15 longueur d'un condensateur apparaîtront de façon évidente à l'Homme du métier, en particulier pour la simplicité des calculs utilisés et la précision du résultat obtenu.

Les deux exemples présentés précédemment illustrent deux aspects distincts de l'invention. Le premier aspect consiste à estimer une capacité à 20 partir de toutes les données géométriques et des permittivités diélectriques des matériaux du composant électronique. Le second aspect consiste à déterminer une dimension d'un condensateur afin d'obtenir une valeur de capacité recherchée. Ces deux aspects se rapportent à la même invention, étant basés sur les mêmes formules, utilisées de deux façons différentes par transformation 25 mathématique.

Les composants considérés dans ces deux exemples sont des condensateurs, pris à titre d'illustration. L'invention peut être appliquée de façon identique à des composants d'une autre nature, dont la structure est

compatible avec la configuration du modèle. Une piste de transmission de signaux électriques, telle que représentée à la figure 8, constitue un exemple alternatif.

Selon la figure 7, une piste métallique 1, de forme générale parallélépipédique, de grande dimension perpendiculaire au plan de la figure, est disposée au sein d'une couche d'un matériau diélectrique 4, au dessus de la surface d'un substrat conducteur 2. Le matériau de la piste 1 est par exemple du cuivre, et le substrat 2 est par exemple en silicium. Le matériau diélectrique 4 est par exemple de la silice. De façon connue en soi, les interactions électrostatiques entre la piste 1 et le substrat 2 sont de type capacitif, et dépendent principalement de la permittivité diélectrique du matériau 3 disposé entre la piste 1 et le substrat 2. Afin de réduire ces interactions, le matériau diélectrique 3 est choisi de façon à présenter une valeur de permittivité diélectrique particulièrement faible. Pour cela, il peut être un matériau organique, de type polymère par exemple, ou un matériau poreux. Eventuellement, le volume correspondant au matériau diélectrique 3 peut être laissé vide, en utilisant un procédé de fabrication adapté au circuit ainsi conçu. Dans une configuration particulièrement utilisée, le matériau diélectrique 3 présente deux faces parallèles sur toute son étendue parallèlement au substrat 2, de sorte que  $t_{ox}=t_{oxst}$ .

Ce dernier exemple illustre encore l'intérêt particulier de l'invention, consistant en la prise en compte de deux milieux diélectriques distincts adjacents 3 et 4, dont les comportements électrostatiques respectifs, caractérisés par leurs permittivités diélectriques, peuvent être très différents.

## REVENTICATIONS

1. Procédé pour estimer une capacité électrique d'un composant de circuit comportant :

- une première plaque conductrice rectangulaire (1), de largeur  $W$ , de longueur  $L$  et d'épaisseur  $t_{M1}$  ;
- une seconde plaque conductrice (2) parallèle à la première plaque et espacée de celle-ci d'une distance  $t_{Ox}$ , ayant une partie centrale rectangulaire en regard de la première plaque et une partie périphérique entourant ladite partie centrale ;
- un premier matériau diélectrique homogène, de permittivité diélectrique relative  $\epsilon_{Ox}$ , disposé entre les première et seconde plaques et ayant une épaisseur égale à  $t_{Ox}$  entre les deux plaques et à  $t_{OxSt}$  au droit de ladite partie périphérique de la seconde plaque, de sorte que ledit premier matériau diélectrique présente une marche de hauteur  $t_{Ox} - t_{OxSt}$  sur le pourtour de la première plaque ; et
- un second matériau diélectrique homogène (4), de permittivité diélectrique relative  $\epsilon_E$  entourant la première plaque et le premier matériau diélectrique,

le procédé comprenant l'obtention d'une estimation de la capacité du composant comme une somme de plusieurs termes incluant au moins deux termes de la forme  $C_0 \cdot W \cdot L$  et  $C_1 \cdot 2(W + L)$ , avec  $C_0 = \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon_{Ox}}{t_{Ox}}$  et

$$C_1 = \frac{\epsilon_0}{\pi} \cdot K \cdot \text{Log}(a),$$

- $\epsilon_0$  étant la permittivité diélectrique du vide,

$$\bullet K = \frac{\epsilon_{Ox} \cdot \epsilon_E}{\epsilon_{Ox} - \left( \frac{(\epsilon_E - \epsilon_{Ox})^2}{(\epsilon_E + \epsilon_{Ox})} \cdot \frac{t_{OxSt}}{t_{Ox}} \right)},$$

- $a = -1 + 2k^2 + 2k\sqrt{k^2 - 1}$  avec  $k = 1 + \frac{t_{M1}}{t_{Ox}}$ .

2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel les termes de la somme incluent en outre deux termes de la forme  $[C_2(W) + C_3(W)] \cdot 2L$  et

$[C_2(L) + C_3(L)] \cdot 2W$ , avec pour  $x=W$  ou  $L$ :  $C_2(x) = \frac{\varepsilon_0}{\pi} \cdot K \cdot \text{Log}(\frac{u(x)}{a})$  et

5  $C_3(x) = \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon_{ox}}{\pi} \cdot [2 - \text{Log}4 - \text{Log}(1 - 2 \exp(-2\theta(x)))]$ ,

- la quantité  $u(x)$  étant une estimation d'une solution de l'équation

$$\frac{\pi}{2} \frac{x}{t_{ox}} = -\frac{a+1}{\sqrt{a}} \cdot \text{Log}\left(\frac{R(x)+1}{R(x)-1}\right) + \frac{a-1}{\sqrt{a}} \cdot \frac{R(x)}{(R(x)^2-1)} + \text{Log}\left(\frac{R(x)\sqrt{a}+1}{R(x)\sqrt{a}-1}\right), \quad \text{avec}$$

$$R(x) = \sqrt{\frac{u(x)-1}{u(x)-a}}, \text{ et}$$

- $\theta(x) = 1 + \pi \frac{x}{2t_{ox}}$ .

10 3. Procédé selon la revendication 2, dans lequel la quantité  $u(x)$  est obtenue en utilisant une méthode itérative de résolution approximative d'équation.

4. Procédé selon la revendication 3, dans lequel ladite méthode itérative est la méthode de Newton.

15 5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel ledit composant de circuit est un condensateur, et dans lequel les première et seconde plaques conductrices (1, 2) comprennent chacune une armature dudit condensateur.

6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel les première et seconde plaques conductrices (1, 2) comprennent chacune une portion de pistes de transport de signaux électriques.

7. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans 5 lequel la seconde plaque conductrice (2) comprend un substrat conducteur portant les premier et second matériaux diélectriques (3, 4) et la première plaque conductrice (1).

8. Procédé de simulation numérique d'un fonctionnement électrique d'un circuit, le procédé de simulation utilisant au moins une capacité d'un 10 composant du circuit estimée selon l'une quelconque des revendications 1 à 7.

9. Procédé pour dimensionner un condensateur de capacité électrique  $C_u$  comprenant :

- une première plaque conductrice rectangulaire (1), de largeur  $W_1$ , de longueur  $L$  et d'épaisseur  $t_{M1}$  ;
- une seconde plaque conductrice (2) parallèle à la première plaque et espacée de celle-ci d'une distance  $t_{Ox}$ , ayant une partie centrale rectangulaire en regard de la première plaque et une partie périphérique entourant ladite partie centrale ;
- un premier matériau diélectrique homogène, de permittivité diélectrique relative  $\epsilon_{Ox}$ , disposé entre les première et seconde plaques et ayant une épaisseur égale à  $t_{Ox}$  entre les deux plaques et à  $t_{OxSt}$  au droit de ladite partie périphérique de la seconde plaque, de sorte que ledit premier matériau diélectrique présente une marche de hauteur  $t_{Ox}-t_{OxSt}$  sur le pourtour de la première plaque ; et
- un second matériau diélectrique homogène (4), de permittivité diélectrique relative  $\epsilon_E$  entourant la première plaque et le premier matériau diélectrique,



- 20 -

le procédé comprenant le calcul d'une première valeur approchée  $L_1$  de la longueur  $L$  comme un quotient entre une somme de premiers termes incluant  $C_u$  et au moins un terme de la forme  $-2 \cdot C_1 \cdot W$ , et une somme de seconds termes incluant au moins deux termes de la forme  $C_0 \cdot W$  et  $2 \cdot C_1$ , avec

5  $C_0 = \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon_{ox}}{t_{ox}}$  et  $C_1 = \frac{\epsilon_0}{\pi} \cdot K \cdot \text{Log}(a)$ ,

- $\epsilon_0$  étant la permittivité diélectrique du vide,

- $K = \frac{\epsilon_{ox} \cdot \epsilon_E}{\epsilon_{ox} - \left( \frac{(\epsilon_E - \epsilon_{ox})^2}{(\epsilon_E + \epsilon_{ox})} \cdot \frac{t_{oxst}}{t_{ox}} \right)}$ ,

- $a = -1 + 2k^2 + 2k\sqrt{k^2 - 1}$  avec  $k = 1 + \frac{t_{M1}}{t_{ox}}$ .

10. Procédé selon la revendication 9, dans lequel lesdits premiers  
10 termes incluent en outre deux termes de la forme  $-2 \cdot C_2(L_0) \cdot W$  et  
 $-2 \cdot C_3(L_0) \cdot W$ ,  $L_0$  étant une valeur initiale déterminée, et dans lequel lesdits seconds termes incluent en outre deux termes de la forme  $2 \cdot C_2(W)$  et

$2 \cdot C_3(W)$ ; avec pour  $x=W$  ou  $L_0$ :  $C_2(x) = \frac{\epsilon_0}{\pi} \cdot K \cdot \text{Log}\left(\frac{u(x)}{a}\right)$ , et

$$C_3(x) = \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon_{ox}}{\pi} \cdot [2 - \text{Log}4 - \text{Log}(1 - 2 \exp(-2\theta(x)))]$$

15 • la quantité  $u(x)$  étant une estimation d'une solution de l'équation

$$\frac{\pi}{2} \frac{x}{t_{ox}} = -\frac{a+1}{\sqrt{a}} \cdot \text{Log}\left(\frac{R(x)+1}{R(x)-1}\right) + \frac{a-1}{\sqrt{a}} \cdot \frac{R(x)}{(R(x)^2 - 1)} + \text{Log}\left(\frac{R(x)\sqrt{a}+1}{R(x)\sqrt{a}-1}\right), \quad \text{avec}$$

$$R(x) = \sqrt{\frac{u(x)-1}{u(x)-a}}, \text{ et}$$

- $\theta(x) = 1 + \pi \frac{x}{2t_{ox}}$ .

11. Procédé selon la revendication 10, dans lequel la quantité  $u(x)$  est obtenue en utilisant une méthode itérative de résolution approximative d'équation.
12. Procédé selon la revendication 11, dans lequel ladite méthode itérative est la méthode de Newton.  
5
13. Procédé selon l'une quelconque des revendications 10 à 12, incluant en outre le calcul des grandeurs  $C_2(L_1)$  et  $C_3(L_1)$ , et comprenant le calcul d'une seconde valeur approchée  $L_2$  de la longueur  $L$  comme un quotient entre une somme de troisièmes termes et une somme de quatrièmes termes, lesdits 10 troisièmes termes comprenant  $C_u$ ,  $-2 \cdot C_1 \cdot W$ ,  $-2 \cdot C_2(L_1) \cdot W$  et  $-2 \cdot C_3(L_1) \cdot W$ , lesdits quatrièmes termes comprenant  $C_0 \cdot W$ ,  $2 \cdot C_1$ ,  $2 \cdot C_2(W)$  et  $2 \cdot C_3(W)$ .
14. Procédé selon l'une quelconque des revendications 10 à 13, dans lequel la valeur initiale  $L_0$  est égale à la largeur  $W$ .  
15
15. Programme d'ordinateur comprenant des instructions pour appliquer un procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 14 lors d'une exécution du programme dans un ordinateur.

FIG.1.

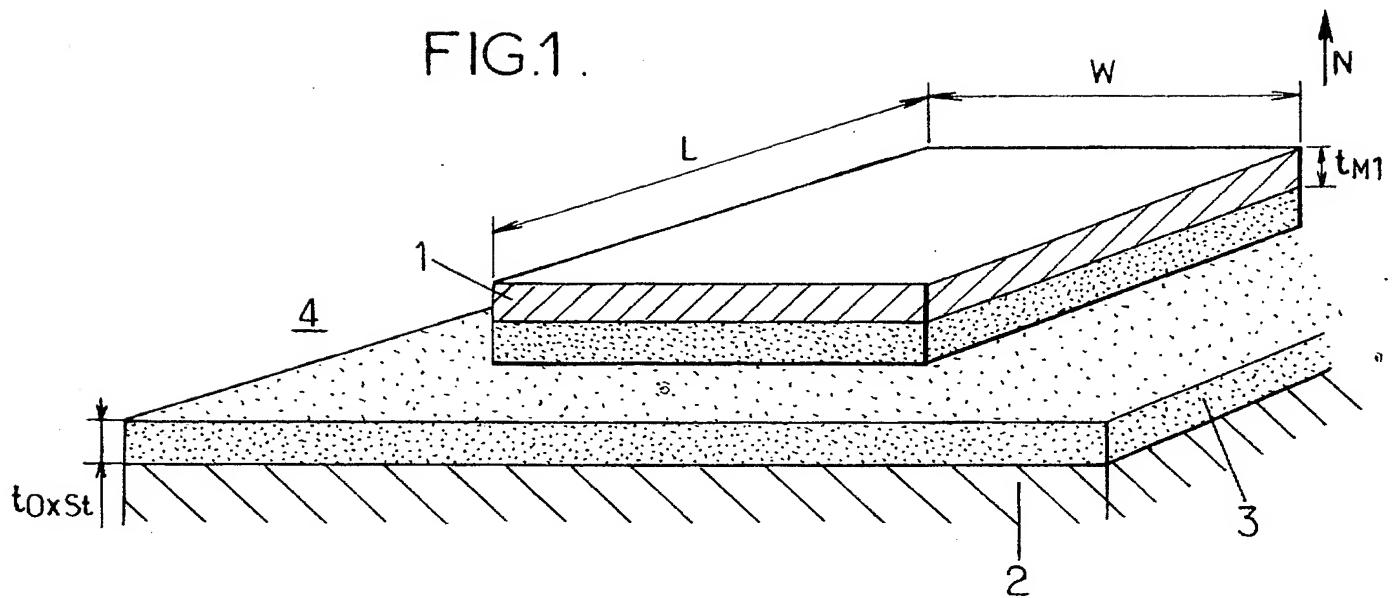


FIG.2.

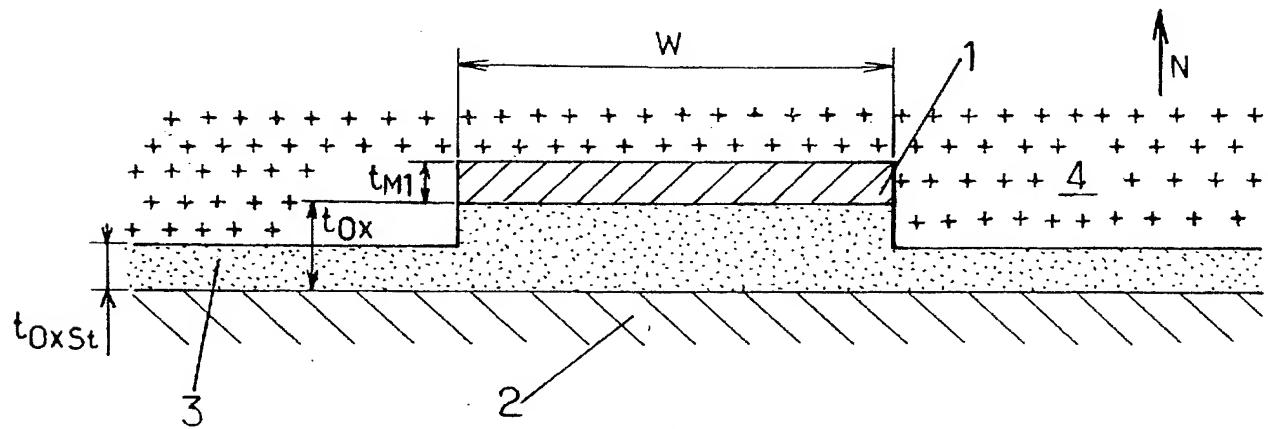


FIG.3.

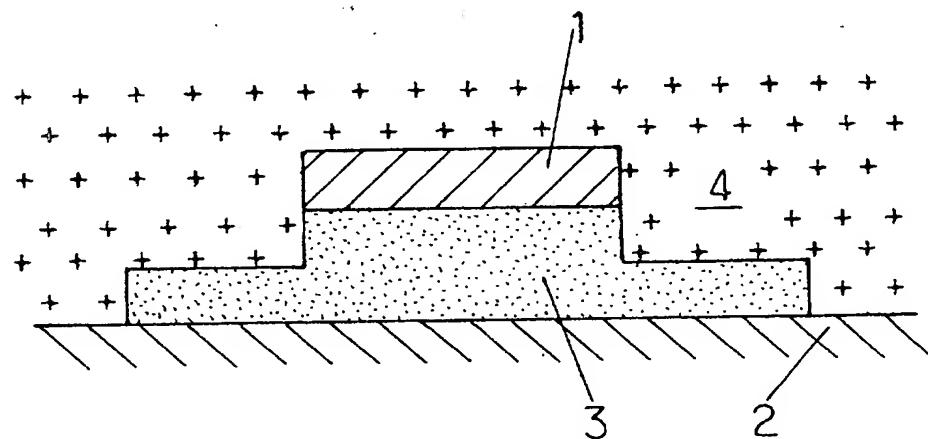
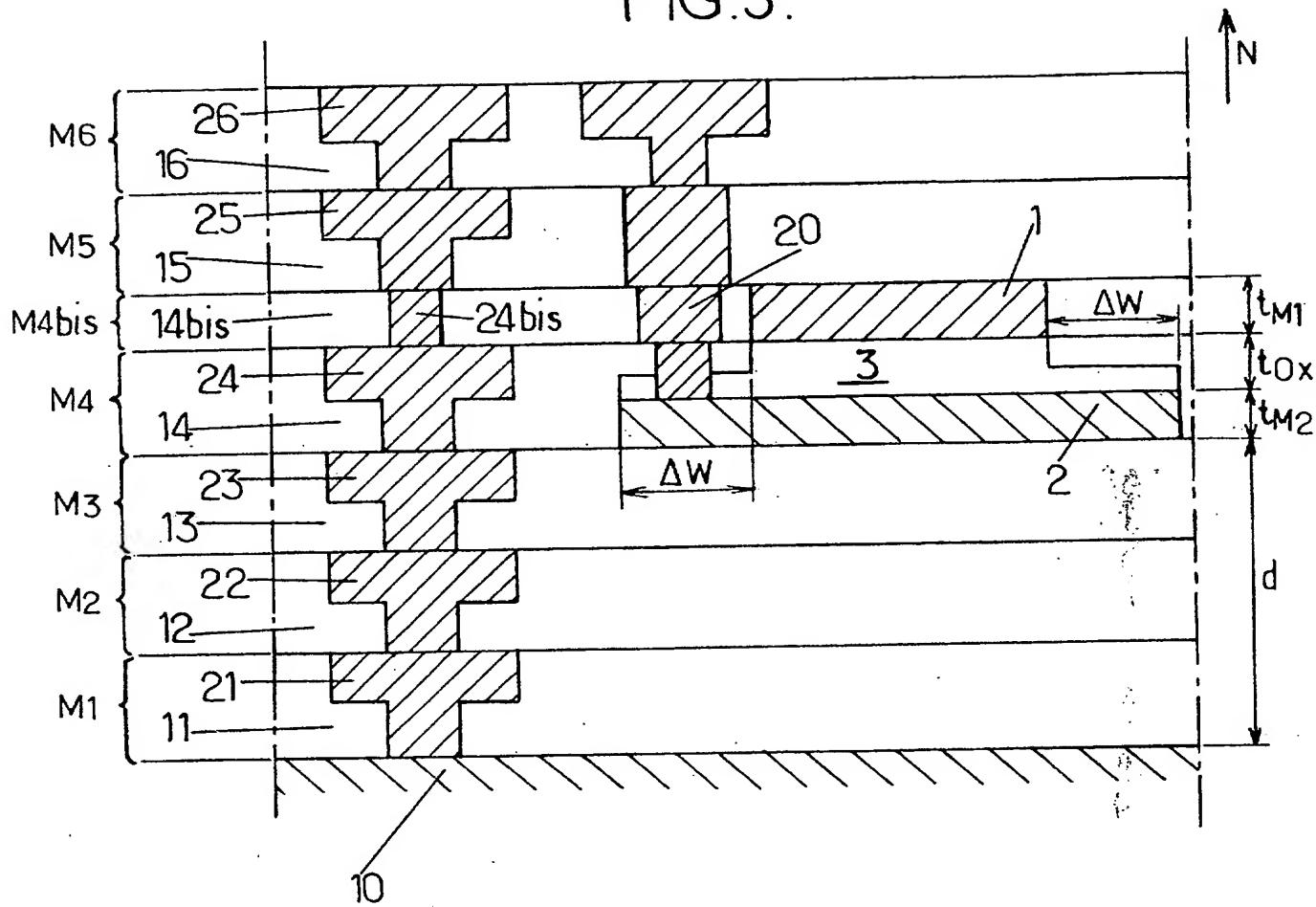


FIG.7.

3/4

FIG.4.

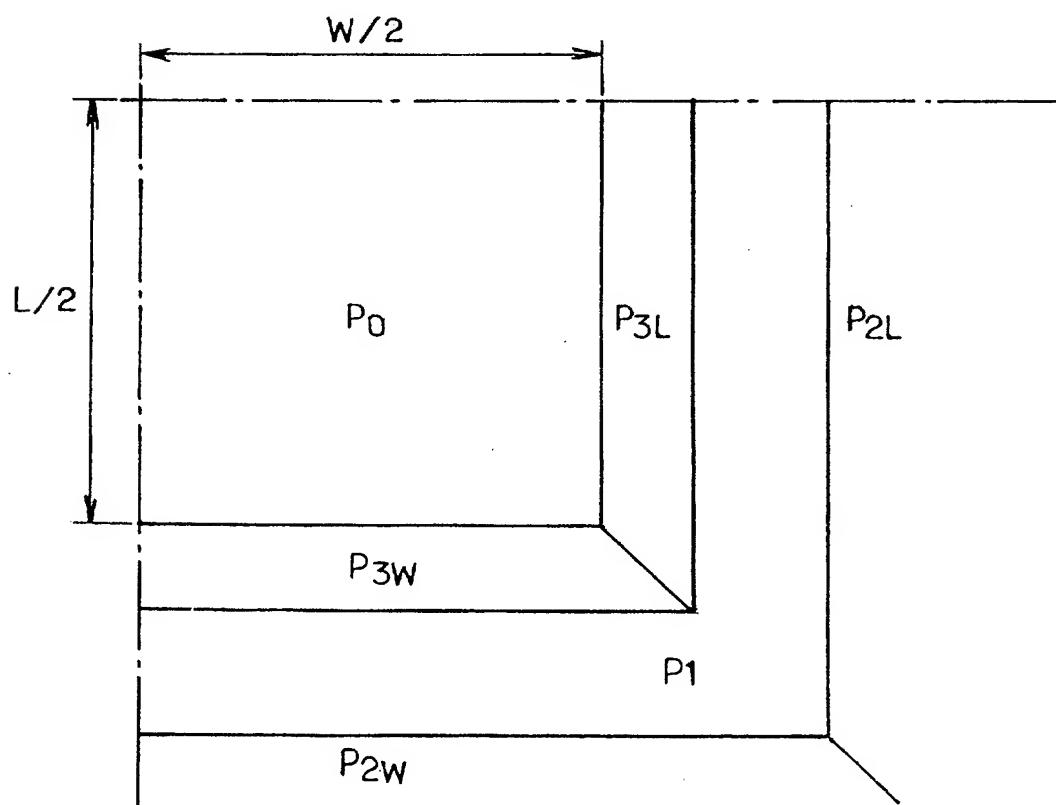
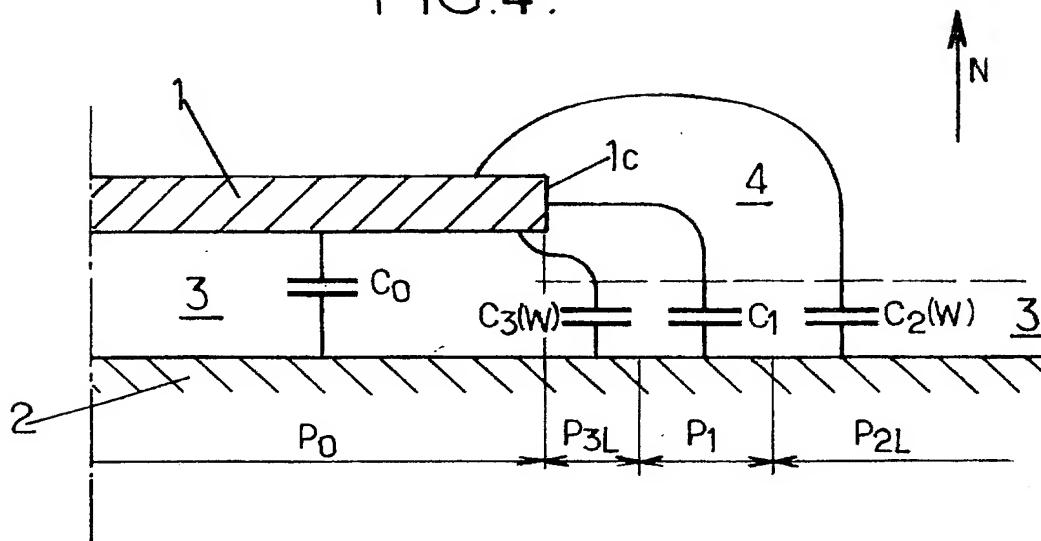
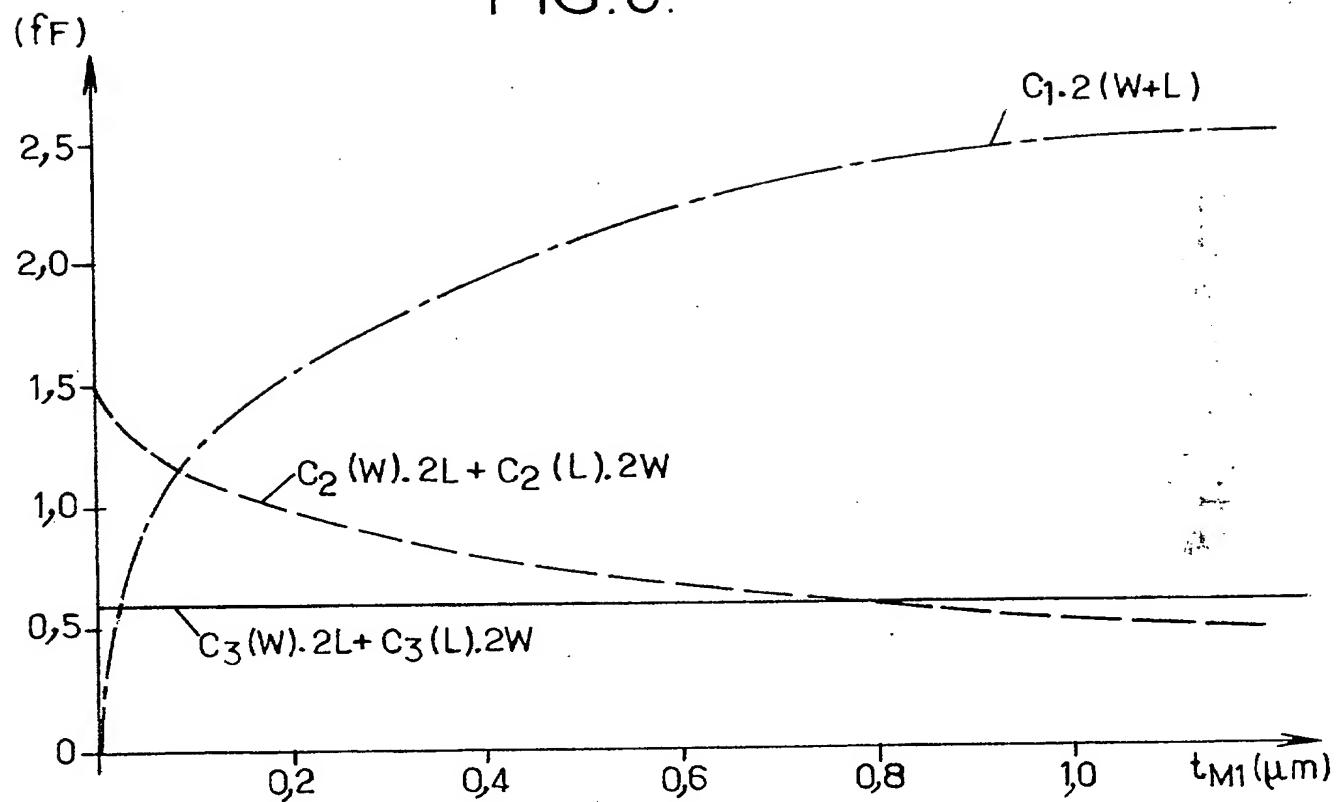


FIG.5.

FIG. 6.



DÉPARTEMENT DES BREVETS

26 bis, rue de Saint Pétersbourg  
75800 Paris Cedex 08  
Téléphone : 33 (1) 53 04 53 04 Télécopie : 33 (1) 42 94 86 54

reçue le 10/10/02

BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI

  
N° 11235\*02

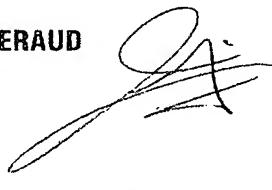
INV

DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) Page N° 1/1

(Si le demandeur n'est pas l'inventeur ou l'unique inventeur)

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 113 W /300301

Vos références pour ce dossier <i>( facultatif )</i>	BLO/PHB/NC/BFF020260		
N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL	0211426		
TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)			
PROCEDE POUR DETERMINER UNE CAPACITE ELECTRIQUE D'UN COMPOSANT DE CIRCUIT, ET PROCEDE POUR DIMENSIONNER UN TEL COMPOSANT			
LE(S) DEMANDEUR(S) :			
STMICROELECTRONICS SA			
DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) : (Indiquez en haut à droite «Page N° 1/1» S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez un formulaire identique et numérotez chaque page en indiquant le nombre total de pages).			
Nom		PICOLLET Eric	
Prénoms			
Adresse	Rue	Le Crozat - Fond de France	38580 LA FERRIERE
	Code postal et ville	FRANCE	
Société d'appartenance <i>( facultatif )</i>		MINONDO Michel	
Nom			
Prénoms			
Adresse	Rue	24 Rue Bellonte	38400 Saint Martin d'Hères
	Code postal et ville	FRANCE	
Société d'appartenance <i>( facultatif )</i>			
Nom			
Prénoms			
Adresse	Rue		
	Code postal et ville		
Société d'appartenance <i>( facultatif )</i>			
DATE ET SIGNATURE(S) DU (DES) DEMANDEUR(S) OU DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire)		Le 23 septembre 2002	
		CABINET PLASSERAUD	
		Bertrand LOISEL	
			
		CPI N° 940311	

